

VR 調理学習システムにおける 部分球形状調理容器による固体群あおり操作の表現

GIB Toss Manipulation in Partial Sphere Container for VR Cooking System

石原逸貴¹⁾, 舟橋健司²⁾

Toshiki Ishihara and Kenji Funahashi

1) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, ishihara@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

概要: 当研究室では簡単な料理体験が可能な VR 調理学習システムの構築を目指している。食材として細かな固体の集まりを扱うことが多いが、このような集まりを固体群と定義し、個々の固体の干渉を考えず一つの操作対象として扱うことで、対話操作を可能とする固体群操作モデルを提案している。これまでの実験システムでは、米や食材片を加熱調理容器内で調理する工程を実現してきた。本研究では、中華鍋のような部分球形状の容器による、容器形状の特徴を利用した「あおり操作」を実現する。あおり操作により一時的に容器外、上部に存在する固体群は簡易的に粒子で表現する。固体群粒子の挙動は、容器の形状とその挙動により容器内固体群に与える力を考慮することで、自然な舞い上がりの様子を表現する。

キーワード: VR 調理学習システム, 固体群操作モデル, 変形曲面, あおり操作

1. はじめに

近年、VR 技術の普及により一般家庭向けの新たなサービスが創出され始めている。誰もが行う行為である料理（調理）の学習は、VR 技術により環境や素材の準備の煩雑さ、火傷などの危険性を回避することができる。そのため、実際に料理を体感しながら訓練をすることが可能な VR シミュレータの研究が行われている [1].

当研究室でも、VR 調理学習支援システム「バーチャルお料理教室」の研究、開発を行っている [2][3]. この研究では、料理の一連の流れを実際に体験しながら学習するためのシステムの構築を目指し、現在、フライパンや中華鍋などの加熱調理容器で食材を炒める調理工程を実現している。この調理工程で扱われる食材は、米や肉、野菜の食材片などの細かな固体の集まりを想定している。多くの対象の相互に影響する挙動を扱うと、計算量が多くなるため、VR システムにおける対話操作性が失われてしまう問題点がある。このような細かな固体の集まりを一體的に扱い、計算量を削減するための様々な手法が研究されている。例えば、砂の挙動の研究 [4]

は、映画の臨場感を演出するのに応用されている [5]. しかし、リアルタイムでの対話操作を行うシステムとして利用できるほどの処理速度が実現できていない。そこで我々は、細かな固体の集合であり人が全体を一つのまとまりとして考えるものを固体群と定義し、固体群全体に影響する力を大域的に考えることで、簡易的に挙動を計算する固体群操作モデルを提案している。我々の実験システムでは、操作者が固体群の入った容器を移動したり、ヘラなどの調理器具で力を加えたりした際に、固体群の形状を変化させ、移動や変形などの挙動を表現している。具体的には、固体群表面の高さをハイトフィールドにより表現し、少ない計算量で容器内固体群の操作を実現している。

本研究では、中華鍋による炒め調理を行う際の鍋を振り上げ容器内の具材を空中に舞い上げる「あおり操作」を提案する。このあおり操作は、食材を混ぜ合わせる、温度を調節する、水分を飛ばすなどの目的のために行われる。部分球形状の容器が固体群に与える力による固体群挙動を再考察し、また容器外、上部に存在する固体群を固体群粒子として表現することで、固体群あおり操作を実現する。

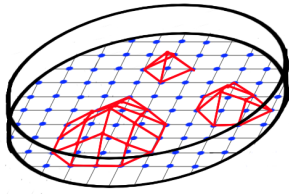


図1 多角柱容器における
固体群表現

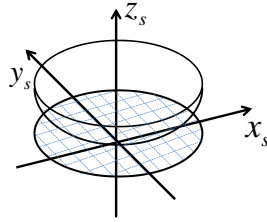


図2 基準面上の部分球

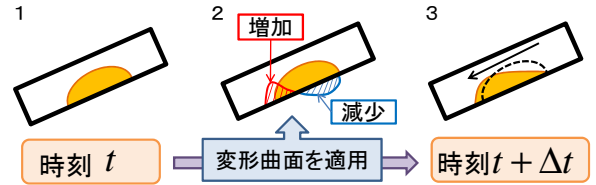


図3 変形曲面による固体群変形の過程

2. 従来モデルの概要

2.1 容器形状と固体群表現

フライパンを想定した多角柱形状の調理容器（多角柱容器）を、多角形平面の底部と、高さ h の垂直な壁により構成する。この底部と同平面に二次元格子ハイトフィールドを定義し、固体群全体の形状、およびその変化としての挙動を各格子の値により表現している（図1）。

ハイトフィールドの格子 (x, y) における固体群の高さを $h(x, y)$ 、体積を $f(x, y)$ とする。容器内固体群の総体積 V は、次式により求められる。

$$V = \sum f(x, y) \quad (1)$$

また中華鍋を想定した部分球形状の調理容器（部分球容器）では、底部が平面でない容器において、底部に固体群ハイトフィールドを定義することは難しいため、容器形状を表現するための容器ハイトフィールドを導入する。これらは図2のように基準面上に定義する。部分球を含む球の半径を R_s 、格子 (x, y) における基準面から部分球までの高さを $h_s(x, y)$ 、体積を $f_s(x, y)$ とすると、次式が成り立つ。

2.2 変形曲面による固体群の挙動

固体群の挙動を固体群の形状変化と考え、この変化分を曲面により簡易的に表現する。この曲面を変形曲面と呼ぶ。図3は多角柱容器を横からみた断面図である。図3-1のように、ある時刻 t において容器内部に固体群が存在している場合、容器を傾けると重力によりその底面下方向に移動することが期待される。そこで、図3-2のように正、負の変形曲面を適用する。すなわち、その曲面の高さをもとの固体群高さに足し合わせる。時刻 $t + \Delta t$ では図3-3のような形状となり、期待された通りの挙動が表現される。実際には正、負の変形曲面の形状を求めることは容易ではないため、実験システムでは変形曲面の適用を段階的にわけることで処理を実現している。具体的には、形状決定が容易な半楕円柱形状の正の変形曲面を適用する。その後全体の体積が元の体積と等しくなる

ように、各格子同士の高さの比が一定に保たれるような負の変形曲面を適用する。

部分球容器においては、容器底部曲面の形状を考慮した固体群が受ける重力の影響に応じて、適切な位置に半楕円体形状変形曲面を適用する。そして同様に、各格子同士の高さの比が一定に保たれるような負の変形曲面を適用することで、部分球容器内の固体群の挙動を表現する。

$$h_s(x, y) = R_s - \sqrt{R_s^2 - (x^2 + y^2)} \quad (2)$$

また格子 (x, y) における基準面からの固体群の表面の高さは $h(x, y) + h_s(x, y)$ により求められる。

3. 固体群あおり操作

3.1 固体群が容器から受ける力

前節では、静的な容器姿勢に対する重力の影響による固体群挙動について述べた。本節では、あおり操作などのように、容器を激しく振ることも視野に入れ、動的な容器位置の変化により固体群が受ける力について再考察する。その上で容器内固体群挙動における変形曲面の位置や、舞い上がりの挙動を決定し、自然な固体群挙動を表現する。

まず、容器が移動、すなわち加速した場合、この時容器が受けた力を \mathbf{F} とする（図4）。また固体群の重心（容器面上）を点 G とする。力 \mathbf{F} を、点 G および球（部分球）の中心と最下点を含む平面における水平成分 \mathbf{F}_u 、それに垂直な水平成分 \mathbf{F}_v 、また鉛直成分 \mathbf{F}_z に分解する。続いて、説明を容易にするために、 \mathbf{F}_u と \mathbf{F}_z の合力 \mathbf{F}_w が水平になるような図を描く（図5）。なお、角 α は本来の水平面に対する重心 G における接平面の傾きを、角 β は合力 \mathbf{F}_w の傾きを表し、合力 \mathbf{F}_w と接平面のなす角 θ は、 α と β から求められる。固体群は、合力 \mathbf{F}_w により容器面から直接押されるように力 \mathbf{F}_p を受け、また、容器に対して滑ることで相対的に反作用力 \mathbf{F}_s を受けていると考える（図6）。なお、簡単化のために図6と次の図7においては $\mathbf{F}_z = 0$ とし、また重力加速度 \mathbf{g} のスケー

ルは異なる.

$$F_p = F_w \sin \theta \quad (3)$$

$$F_s = -F_w \cos \theta \quad (4)$$

加えて、固体群は重力 \mathbf{g} による力も受けている. これら3つの合力 \mathbf{F}_g が点 G から接平面よりも球の内側に伸びる場合、固体群は \mathbf{F}_g と \mathbf{F}_v の合力により飛び上がる挙動を示す. 一方、そうでない場合には、力 \mathbf{F}_g を接平面に平行な成分 \mathbf{F}_r とそれに垂直な成分 \mathbf{F}_q に分解する (図7). 成分 \mathbf{F}_q は固体群が容器面を押す力であり、接平面に対する垂直抗力と打ち消し合うと考える. 成分 \mathbf{F}_r は固体群が容器面上で滑る力である. この力の向きにより、実際に滑り上がるのか滑り落ちるのかが決定される. ここで分力 \mathbf{F}_v による水平方向での滑り挙動は、容器を真上から見た図8の通り、分力 \mathbf{F}_v の反作用として滑り成分 $\mathbf{F}_t = -\mathbf{F}_v$ を求めることで表現する. これら \mathbf{F}_r と \mathbf{F}_t の合力により固体群は容器面上を滑るわけであり、2節後半で述べた重力 (抗力分を除いた分力) による滑り挙動と同様に変形曲面を適用することで任意の方向への滑り挙動を表現する.

3.2 固体群の舞い上がり

舞い上がる固体群は粒子で表現する. これを固体群粒子と呼ぶ. 固体群粒子は細かな固体が体積 V_p だけ集まったものとし、重力を受け自由落下するものとする. 前節で固体群の舞い上がりが起きる際、ハイトフィールドで表現される容器内固体群を固体群粒子に変換する必要がある. 固体群粒子を重心 G の周辺に生成し、前節で求めた合力に応じて初速度を与える. 粒子への変換量も同様に合力に応じて決定するが、そのパラメータは経験的に定めている. ある時刻 t で固体群粒子を k 個生成し、また粒子 l 個が容器内に受け止められた場合の容器内固体群の体積 V は

$$V(t) = V(t - \Delta t) - kV_p + lV_p \quad (5)$$

とすることで固体群の舞い上がりを実現する.

4. 実験と結果

提案モデルに基づき、実験システムを計算機 (Intel Core i5-2400, 3.10GHz) 上に構築した. 図9に実験の様子を示す. 入力デバイスとして、任天堂株式会社より発売されている Wii リモコンを利用する. 操作者は入力デバイスを振ったり、傾けたりすることで、調理容器の柄を持って操作している感覚を得られる. 調理容器は中華鍋、固体群は炒飯を想定している. 固体群の挙動を提案モデルにより計算し、テクスチャマッピングにより描画する. 図10より、部分球容器で

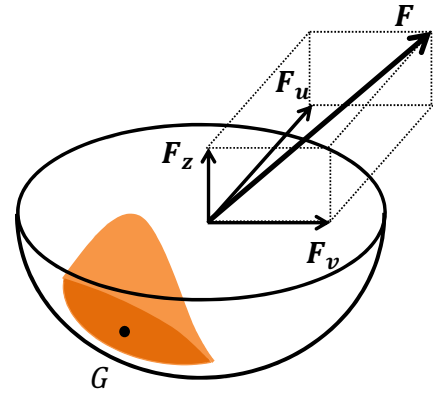


図4 容器が受ける力の分解

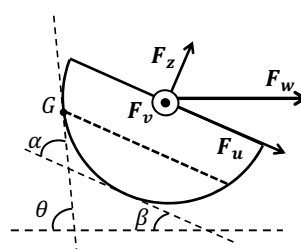


図5 重心における接平面の傾き

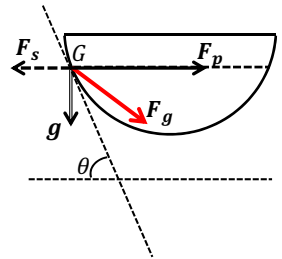


図6 固体群が受ける力 (例1)

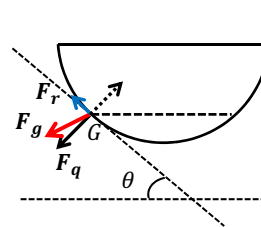


図7 固体群が受ける力 (例2)

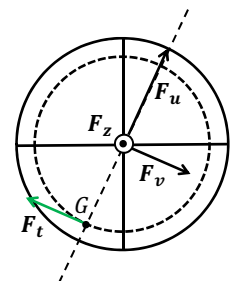


図8 真上から見た様子

のあおり操作により、固体群の自然な移動や舞い上がりを実現することが可能になる. また、容器内固体群を描画するためのハイトフィールドの格子数と処理速度に関して比較を行った (表1). 格子数が整数の二乗値でないのは、容器が円形であるためである. 処理速度は小数点以下を四捨五入した値である. 大きな格子数を用いた時の処理速度の結果は、大きな容器の利用や、複数の容器の使用を考慮したものである. なお、一般的な対話操作に必要な処理速度を遥かに上回った結果が得られているが、実際の調理学習システムを構築するには、固体群操作モデルをさらに拡張する必要がある.

表 1 処理速度についての実験結果

格子数	処理速度 (平均)[FPS]
317	458
529	441
901	347
1373	264



図 9 実験の様子

り、また食材を洗う、切る、盛り付けるなどの調理工程も同時に処理、表現する必要がある。これらの点もふまえ、十分に余裕をもった速度を確認できる。

5. むすび

我々が提案してきた固体群操作モデルでは、多角柱形状および部分球形状の調理容器により、容器内外の固体群を操作することを実現してきた。そこで今回は中華鍋を想定した部分球形状の調理容器における固体群のあおり操作に着目し、容器の移動が固体群に与える影響を考察することで、自然な舞い上がりを実現した。

今後は、動的な容器の姿勢変化、すなわち容器の回転における角加速度に注目し、固体群の舞い上がりや容器内での滑り挙動を合わせて実現することで、より自然なあおり操作を実現する必要がある。将来的には、これまでの固体群操作モデルによる調理工程のほかに、食材の準備や加工、盛りつけなどの工程モデルも提案し、VR 調理学習システムの完成を目指す。

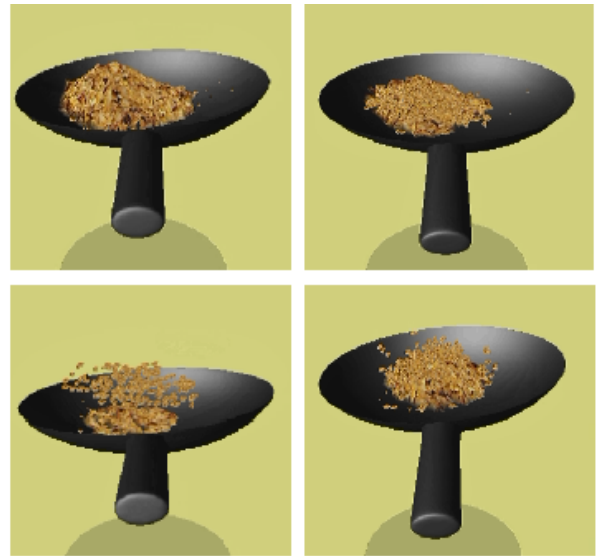


図 10 あおり操作による固体群挙動

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた本研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 24501186 の研究助成による。

参考文献

- [1] 加藤史洋, 三武裕玄, 長谷川晶一: “体験型料理シミュレータ”, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会講演論文集, 2D2-2 (DVD-ROM), 2010.
- [2] 森井敦士, 上垣内翔太, 山本大介, 舟橋健司: “VR 調理学習システムのための存在確率に基づく粒子による固体群の上下動の表現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.539-549, 2011.
- [3] 石原逸貴, 舟橋健司: “VR 調理学習システムにおける調理容器の部分球形状への拡張”, 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会講演論文集, 13E-6 (DVD-ROM), 2012.
- [4] Onoue K., Nishita T.: “Virtual Sandbox”, In: Proc. of the 11th Pacific Graphics, pp.252-259, 2003.
- [5] C. Amman, D. Bloom, J. M. Cohen, J. Courte, L. Flores, S. Hasegawa, N. Kalaitzidis, T. Tornberg, L. Treweek, B. Winter, C. Yang: “The Birth of Sandman”, SIGGRAPH 2007 sketches, Article No. 26, 2007.